

SAWデバイスを用いたスペクトル拡散通信システムの研究

著者	中? 博之
号	1665
発行年	1994
URL	http://hdl.handle.net/10097/6938

氏 名	中 瀬 博 之
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 7 年 3 月 24 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	SAW デバイスを用いたスペクトル 拡散通信システムの研究
指 導 教 官	東北大学教授 坪内 和夫
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 坪内 和夫 東北大学教授 山之内和彦 東北大学教授 大見 忠弘 東北大学助教授 益 一哉

論 文 内 容 要 旨

第一章 序 論

高度情報化社会を支える情報ネットワークは、データ・情報サービス等とユーザーを「いつでも、どこでも、誰とでも、どんな状況においても」結びつけることが必須となる。現在のデジタルネットワークは、光ファイバ・衛星回線等を高速基幹伝送路とし、さらに有線によってユーザーとの接続を行うものが主流である。今後、ネットワークの拡大・発展、パーソナル化を考えた場合、有線ケーブルそのものの存在がネットワークの自由度を制限し、さらにその敷設コスト等が障害となる。高速基幹伝送路とユーザーとの接続を無線化することによって、デジタルネットワークは飛躍的に発展すると考えられる。従って、有線並の高信頼性を実現可能な無線通信技術が必須となる。従来の狭帯域無線通信は、室内やビルなどによるフェージングによりその信頼性を確保するのが非常に困難である。

スペクトル拡散 (SS) 通信方式は、情報伝送に最低限必要な帯域よりはるかに広い帯域を用いる通信方式である。干渉耐性、通信秘話・秘匿性、周波数選択性フェージング耐性等の特徴をもち、高信頼性無線通信技術としてデジタル無線通信ネットワークへの応用が期待されている。また、日本・米国において、スペクトル拡散通信用バンドも認可され、その活用が奨励されている。しかしながら受信復調において、スペクトル拡散符号の相関検出、さらにはキャリア・拡散符号の同期は、従来の電子回路技術では実現が非常に困難であった。弾性表面波 (SAW) デバイスは、キャ

リアを含んだ状態での信号処理が可能なデバイスで、SS通信の相関デバイスとして最適である。

本論文では、SAW デバイスを用いた 2.4GHz スペクトル拡散通信システムの研究・開発を目的として、SS 通信用相関器に SAW コンボルバを用い 2.4GHz SS モデムを試作し、その双方向通信技術を研究・開発した。さらに新しい SAW デバイス材料である $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造を用い SAW コリレータを設計・試作、SAW コリレータを用いた 2.4GHz SS モデムを試作した。また、SAW コリレータに適した新しい多重化方式を提案し、情報伝送速度の高速化を実現した。

第二章 スペクトル拡散通信方式と SAW デバイス

スペクトル拡散通信方式は、従来の狭帯域通信方式に二次変調として PN (Pseudo Noise) 符号を用いて拡散変調を行い、スペクトルを拡散して伝送を行う。受信側では、送信側で用いた同じ符号で逆拡散を行い（二次復調）、情報復調を行う。この拡散・逆拡散の操作により、SS 通信方式特有のプロセスゲイン（処理利得）を得る。このプロセスゲインにより耐干渉性を実現する。また、拡散に用いた符号により局識別を行う符号分割多元接続（Code Division Multiple Access : CDMA）が実現可能である。受信時には、拡散符号の相関検出が必要となるが、拡散により電力スペクトル密度が低下するため、受信が困難となるばかりでなく信号そのものの検出が困難となる。従って SS 信号の復調には、受信直後の相関により S/N を改善することが重要となる。

SAW コンボルバ・コリレータはキャリアを含んだ状態で相関操作が可能なデバイスで、検波・復調以前に相関操作を行うことによって、SS 通信のプロセスゲインを最大限発揮可能である。SAW コンボルバは、二つの入力と一つの出力端子から構成され、二つの入力信号の畳み込み積分として出力が得られる。入力の 1 つを受信信号、もう 1 つを参照信号として希望信号の拡散符号で拡散した信号を入力することで、SAW コンボルバの相関特性を決定するもので、その符号・周波数は周辺回路によって自由に変更可能である。この特性をいかし CDMA に加え、周波数分割によるチャンネル設定も可能となる。SAW コリレータは、一つの入力と 1 つの出力からなる相関デバイスである。入力された信号は、デバイスの SAW 遅延線上に形成されたタッピング電極のパターンにより相関操作が実現される。固定コード・周波数であるものの効率が良好で、周辺回路が不要であることから、携帯端末用相関器として最適である。

第三章 SAW コンボルバを用いたスペクトル拡散通信システム

本章では、SAW コンボルバを IF での相関器として用いた 2.4GHz SS モデムを開発し、携帯端末用無線機として必須である同一周波数帯域における双方向通信技術を確立する。まず、キーデバイスである SAW コンボルバは参照信号に拡散信号を入力することにより相関器として動作する。図 1(b)に示すように、SAW コンボルバの参照信号に m 系列 [7,1], [7,3] を入力すると、各々の相関関数を反映した出力が得られる。次に図 1(c)に示すように、受信信号の周波数を変化させると、周波数差が 110kHz となると相関ピークは消滅する。これは、コンボルバの積分時間 $9\mu\text{sec}$ の逆数に相当し、数学的直交周波数である。

まず、SAW コンボルバの特性をいかし、符号分割と周波数分割を同一周波数帯域全二重通信に

応用した 1200bps SS モデムについて述べる。同一帯域内での全二重通信で最大の問題となるのは、自局の送信信号である。狭帯域通信においては、周波数分離によってチャンネルの確保を行う。しかし SS システムでは、通信自体に広い帯域を用いるため同一周波数帯域での全二重化が必須となる。本研究では、SAW コンボルバの符号・周波数特性と、独自に試作した RF アイソレータによりこれを実現した。符号には、m 系列のプリファードペア、送受信信号周波数差を 941kHz とすることにより、チャンネル分割を行う。評価は、自局の送信電力と受信電力の比 (D/U) と 10^6 ビット送信時のビットエラーレート (BER) によって行った。測定の結果、 $D/U = -78.3\text{dB}$ で $\text{BER} = 10^{-6}$ 以下を得た。この値は、二波伝送路モデルにおいて約 200m の通信可能距離に相当し、室内無線モデムとして十分な値といえる。

次に、TDD (Time Division Duplex) を用いた SS による音声・データ統合通信システムを開発した。時間分割による双方向通信を確立し、111kbps 無線モデムの試作を行った。従来の SS システムにおいては、PN 符号の同期確立時間が長く場合によってはデータ通信時間以上となってしまうため、TDD やパケット型の通信システムの実現は非常に困難であった。本研究では、SAW コンボルバの高速相関特性を利用し、PN 同期を $20\mu\text{sec}$ 以下で実現した。また SS 通信の場合、PN 同期確立が同時にフレーム・ビット同期となるため TDD を容易に実現できる。ADPCM 及びペン入力コンピュータにより音声・データの混在伝送システムを実現した。また、試作したモデムは日本国内における SS バンドの規格に適合している。

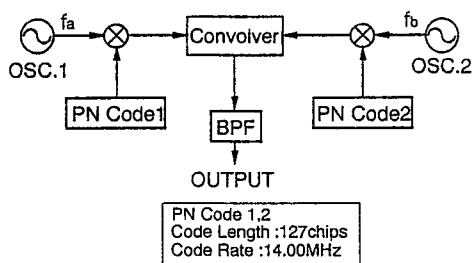
第四章 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW コリレータを用いた 2.4GHz SS システム

本章では、新しい高音速 SAW デバイス材料 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造を用いて、RF フロントエンド SAW コリレータを試作し、これを用いた SS システムを開発した。 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造は、音速が約 5900m/s と他の材料に比べ約 1.5~2 倍と大きく、零伝搬遅延時間温度係数実現可能なことから、2.4GHz SS システムの RF フロントエンドコリレータ材料として最適である。試作したコリレータは、中心周波数 2.484GHz、拡散符号 11chip Barker Code である。図 2 に、試作したモデムのブロック図とコリレータ及びディレイラインを用いた遅延検波波形を示す。試作したモデムは、2.4GHz 帯で動作し、伝送速度は 2 Mbps である。図 2 (b) に示すように RF にて SAW コリレータ及びディレイラインを用いることにより、SS 受信部は大幅に簡略化できる。また遅延検波により、図 2 (c) に示すように、RF からベースバンドへ直接検波し、復調が可能となる。さらに、本研究では、固定コードであるコリレータに最適な多重化方式 TDM (Time Division Multiplex) を提案し、伝送速度の向上に応用することにより 4 Mbps を実現している。ホワイトノイズ環境下において、試作した SS モデムの特性を評価した。2 Mbps・4 Mbps の双方のシステムにおいても理論値からの劣化が存在するものの、SAW コリレータを用いたシステムとして良好な特性が得られた。

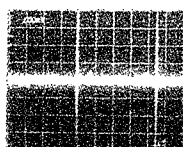
さらに、本研究では携帯端末用 SS 無線モデムの実現に向けて、低消費電力 SS ワンチップ復調器の基礎として、低電力動作ミキサの試作を行った。Si トランジスタのベース・エミッタ接合を利用し、最適バイアスにより従来のミキサと比較し約 -30dB の低電力動作を確認した。また、低消費電力カードサイズ SS RF 復調器を試作し、約 350mW 低消費電力動作を実現した。

第五章 結 論

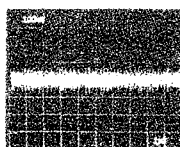
本論文では、高度情報化社会のネットワーク技術において重要となる高信頼性無線通信技術として、SAW デバイスを用いたスペクトル拡散通信システムの研究・開発を行った。その結果、SAW コンボルバの相関特性をいかした 2.4GHz 帯における双方向通信技術を確立、その応用分野の実現を音声・データ混成 SS 通信システムとして実現した。さらに、新しい高音速 SAW デバイス材料 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ を用いた SAW コリレータを試作し、SAW コリレータを相関器に用いた低消費電力かつ Mbps オーダーの SS 通信モデムの試作と SAW コリレータに適した多重化方式を新たに提案・実現した。以上の結果から SAW デバイスを用いたスペクトル拡散通信システムが高度情報化社会における通信技術として十分実用可能であることが明らかになった。



(a) measurement

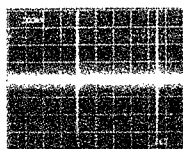


PN Code1 = m(7,1)
PN Code2 = m(7,1)
($f_a = f_b$)

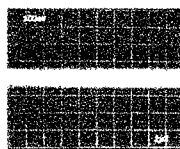


PN Code1 = m(7,3)
PN Code2 = m(7,1)
($f_a = f_b$)

(b) input PN code is changed



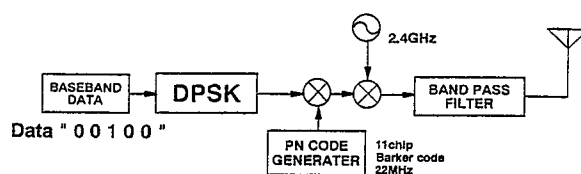
$f_a = 216.00[\text{MHz}]$
 $f_b = 216.00[\text{MHz}]$
(PN Code1 = PN Code2)



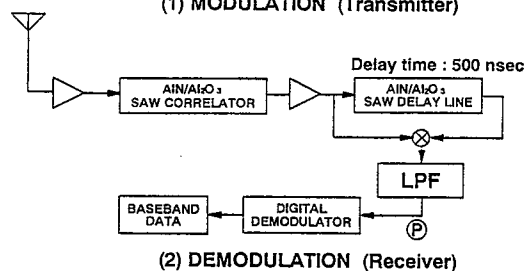
$f_a = 216.11[\text{MHz}]$
 $f_b = 216.00[\text{MHz}]$
(PN Code1 = PN Code2)

(c) input frequency f_a is changed

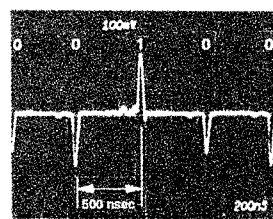
Block diagram



(1) MODULATION (Transmitter)



(2) DEMODULATION (Receiver)



(3) Waveform at point P

図1 SAW コンボルバの特性

図2 SAW コリレータ及び SAW ディレイラインを用いた SS 通信モデム

審 査 結 果 の 要 旨

マルチメディアを支えるネットワークの基盤通信技術として、特に「いつでも、どこでも、誰とでも」通信を可能とする高信頼性無線通信技術の実現が必須の課題である。スペクトル拡散 (SS) 通信方式は、擬似雑音信号によって2次変調を行い冗長性を付加することによって、有線に匹敵する高信頼性を確保可能な無線通信技術である。本論文は受信 SS 信号の高速相関を行うキーデバイスとして弾性表面波 (SAW) デバイスに着目し、SAW コンボルバ・システムにおける全二重通信方式の開発、さらに RF フロントエンドで高速相関可能な $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ SAW コリレータを用いた 2.4GHz 帯高速データ伝送 SS 通信モデムの研究開発を行った結果についてまとめたもので全文 5 章よりなる。

第 1 章は、序論である。

第 2 章では、SS 方式の概略、SAW コンボルバ及び SAW コリレータがキャリアを含んだ状態での相関操作により、S/N 改善を行うことが可能なデバイスであることについて述べている。

第 3 章では、 ZnO/Si 構造 SAW コンボルバを IF 帯における相関器として用いた 2.4GHz 帯 SS 通信モデムにおける双方向通信技術の開発について述べている。まず、低速 (1200bps) 完全非同期型 SS モデム用双方向通信技術として、SAW コンボルバの相関特性を利用した符号及び周波数分割によるチャンネル分離と、独自に設計した RF アイソレータを用いて、同一周波数帯域内での全二重通信を可能とした。約 200m に相当する通達距離での高信頼通信が可能であることを示している。IF 帯動作の SAW コンボルバのみで実現し得る周波数によるチャンネル分割を全二重通信へ応用した点は、高く評価できる。次に、これらの結果をもとに中速 (111kbps) 同期型 SS モデムの全二重通信技術として、TDD (Time Division Duplex) を採用して、音声・データ混成 2.4GHz SS 無線通信モデムとして完成させた。これら SS 通信モデムは、日本国内における SS 通信バンドの規定値を満たしており、SS 無線データ通信技術として、実用上も重要な成果である。

第 4 章では、新しい高音速 SAW デバイス材料である $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造を用いた SAW コリレータの開発とこれを 2.4GHz RF フロントエンドでの相関器に用いた SS 無線モデムの開発について述べている。5 mm × 6 mm 角の Al_2O_3 基板上に製作した SAW コリレータと SAW 遅延線により、2.4GHz のキャリアを含んだ受信 SS 信号を初めて直接検波し、2 Mbps 高速データ通信に成功している。また、SAW コリレータ・システムにおけるデータレートの高速化、マルチ・チャンネル化を可能とする TDM (Time Division Multiplex) を提案し、実際にデータレート高速化として 4 Mbps 伝送 SS 通信モデムを実現している。さらに、低消費電力カードサイズ復調器を設計、試作し、相補形エミッタフォロワ構成のミキサを導入することにより消費電力約 350mW を実現している。これらは、超小型ワンチップ SS 復調器実現の基礎を築くものとして、高く評価できる。

第 5 章は、結論である。

以上要するに本論文は、SAW コリレータを用いたスペクトル拡散通信モデムについて、全二重通信化、多重化方式、データレートの高速化技術などマルチメディア高信頼性無線通信技術の研究開発を行ったもので、電子工学、無線通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として合格と認める。